

## NEVŞEHİR BÖLGESİ TÜFLERİNİN KAZISINDA KOLLU GALERİ AÇMA MAKİNELERİNİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

A. Emre DURSUN<sup>1</sup>, M. Kemal GÖKAY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zeve Kampüsü, VAN

<sup>2</sup>Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, KONYA

<sup>1</sup>[aedursun@hotmail.com](mailto:aedursun@hotmail.com), <sup>2</sup>[mkgokay@yahoo.com](mailto:mkgokay@yahoo.com)

(Geliş/Received: 04.01.2013; Kabul/Accepted in Revised Form: 07.02.2013)

**ÖZET:** Mekanize kazı sistemlerinde kazı performansının güvenli bir şekilde kestirimi çok önemlidir. Kazı performansının kestirimi; teknik, ekonomik olarak uygulanabilirliğin ve kazı hızlarının kestirimi olarak tanımlanabilir ayrıca kazı işlerinin ekonomikliğini hayati derecede etkilemektedir. Bu kestirim mekanize kazı sistemlerinde kullanılacak makinelerin seçimini kayaç özelliklerine uygun olarak yapılmasını ve bu tür makinelerin verimli çalışmasını sağlamaktadır. Bu durum mekanize kazıyı diğer kazı sistemlerine göre daha avantajlı duruma getirmektedir. Son yıllarda ülkemizde madencilik ve inşaat amaçlı galeri/tünel ve yeraltı deposu gibi yapıların mekanize kazı yöntemiyle açılması artmaktadır. Bu çalışmada, Nevşehir bölgesindeki tüflerin kazısında kollu galeri açma makinelerinin kullanılabilirliği bazı performans tahmin yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır. Bunun için Nevşehir bölgesinden sağlanan 6 çeşit tüf numunesinin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için kaya mekaniği deneyleri ve spesifik enerji değerini belirlemek için küçük boyutlu kesme deneyleri yapılmıştır. Daha sonra elde edilen veriler ile performans tahmin yöntemlerinden faydalanılarak olası kullanılacak bir kollu galeri açma makinesi için performans tahmini yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Tüf, Spesifik enerji, Kollu galeri açma makinesi, Küçük boyutlu kesme deneyleri

### Investigation of Usability of Roadheaders in Excavation of Nevşehir Region Tuffs

**ABSTRACT:** In mechanized excavation systems, secure prediction of excavation performance is very important. The prediction of excavation performance can be defined as a technique based on economic feasibility and estimation of excavation rate. It is vital for the economic efficiency of excavation works. This technique enables appropriate selection of excavation machines according to rock characteristics and efficient working of these machines. Thus mechanized excavation techniques have been more advantageous compared to other excavation systems. In recent years, using mechanized excavation methods have been increased in excavating tunnels/galleries and underground deposits for the purpose of civil and mining in Turkey. In this study, usability of roadheaders for excavation of tuffs in Nevşehir region was investigated by using some performance prediction methods. Thus, rock mechanics tests were performed to determine the physical and mechanical properties and rock cutting tests were performed to determine the specific energy values on 6 different tuff samples obtained from Nevşehir region. Then, the data obtained were used for performance predicting of selected roadheaders using some performance prediction methods.

**Key Words:** Tuff, Specific energy, Roadheader, Small-scale cutting experiments

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ülkelerin gelişmesi ve kalkınmasında yeraltı maden kaynaklarının bilimsel metotlarla işletmeye alınması hayati önem taşımaktadır. Gelişmiş ülkelerin kalkınmasının temelinde, bu kaynakların verimli olarak işletilmesi bulunmaktadır. Çünkü yaşamı aktif hale getiren unsurların çoğunu madenler oluşturmaktadır. Ülkemizde son yıllarda madencilığe doğru artan talepler ve çeşitli amaçlar için açılan tünel, galeri ve yeraltı deposu vb. gibi yapıların artması nedeniyle dünya da diğer madencilik şirketleri ile rekabet edebilmek ve madencilik faaliyetlerini daha verimli daha ekonomik ve daha kolay yapabilmek için insan gücünü en aza indiren mekanize kazı sistemlerini kullanmak kaçınılmaz olmuştur. Bu talepler ışığında son yıllarda ülkemizde kazı makinelerinin kullanımı artmıştır. Kazıcı makineyi kullanacak olan firmaların daha verimli ve ekonomik bir kazı yapabilmeleri için bilimsel metotlara dayanarak kazıcı makine seçimini yapmaları gerekmektedir. Çünkü ilk yatırım maliyeti çok yüksek olan bu tür projelerde yatırımcı firmanın proje maliyetlerini önceden tahmin edebilmesi bu firmaların ileriye dönük sağlıklı bir üretim ve finans planlamasını yapabilmesini sağlaması açısından hayati önem taşımaktadır. Bu nedenle mekanize kazı sistemlerinde kazı performansının güvenli ve doğru şekilde önceden kestirimi çok önemlidir.

Herhangi bir formasyonu kazmak için kullanılacak bir mekanik kazıcının performans tahmininin yapılması kazının ekonomikliğini belirlemede ana faktörlerden biridir. Kazı performansı tahmininde değişik metotlar vardır. Gerçekçi sonuçlara ulaşabilmek için bir kaç metot uygulanması daha doğru olacaktır. Bu metotlar; küçük boyutlu kesme deneyleri (McFeat-Smith ve Fowell, 1977; 1979), tam boyutlu kesme deneyleri (Rostami ve diğ., 1994), amprik yaklaşımlar (Bilgin ve diğ., 1988, 1990, 1996, 1997; Hartman ve diğ., 1992; Eskikaya ve diğ., 1998), yarı teorik yaklaşımlar (Çopur 1999; Hurt ve diğ., 1982; Rostami ve diğ., 1994) olarak sıralanabilir.

Kollu galeri açma makinelerinin performansı ile ilgili yapılan çalışmalardan

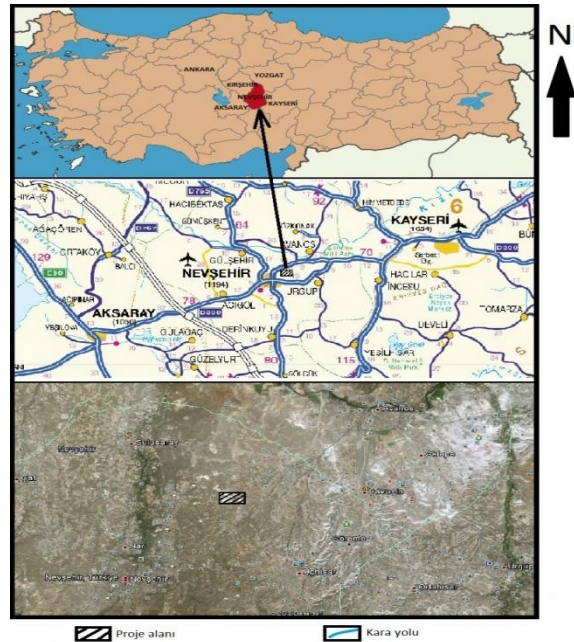
Bilgin ve diğ. (1990), çalışmalarında kollu galeri açma makineleri ve hidrolik kırıcıların performans tahmininde Kaya Kütle Kazılabilirlik İndeksini belirleyerek kazı hızı tahmininde bulunmuşlardır. Bunun için kayaların tek eksenli basınç dayanımı ile  $RQD$  değerini kullanmışlardır.

Rostami ve diğ. (1994), yaptıkları çalışmada spesifik enerji değerini kullanarak, kollu galeri açma makinelerinin performanslarının tahmin edilebileceğini belirtmişlerdir.

Gehring (1989), yaptığı çalışmada kazı arınına dik ve paralel olarak kazı yapan kollu galeri açma makineleri için kayaların tek eksenli basınç dayanımını kullanarak bir model geliştirmiştir.

Thuro ve diğ. (1999), kazı hızının tahmini için kayaların tek eksenli basınç dayanımı kullanarak bir model geliştirmişlerdir.

Bu çalışmada yapılan performans tahminlerinden Bilgin ve diğ. (1990) ile Rostami ve diğ. (1994) tarafından önerilen kollu galeri açma makinelerinin performans tahmininde kullanılan modeller kullanılmıştır.



Şekil 1. Nevşehir ili yerbulduru haritası, ( Location map of the Nevşehir city)

Performans tahmini için kullanılan tuf numuneleri Nevşehir ili sınırları içerisinde sağlanmıştır. Bu tuf ocakları Orta Anadolu'da Kapadokya bölgesinde, Nevşehir ili sınırları

içerisinde yer almaktadır. Ocaklar, Nevşehir-Avanos karayolu üzeri 7. km de bulunmaktadır. Kuzeyde Nevşehir-Avanos karayolu, güneyde Uçhisar ilçesi, doğuda Avanos ilçesi batıda il merkezi bulunmaktadır. Numunelerin sağlandığı bölge Nevşehir İli, Merkez İlçe, Yeni 2. Mıntıka Mahallesi, Çorak Mevkiinde yer almaktadır (Şekil 1).

## 2. MATERYAL ve YÖNTEM (MATERIALS and METHODS)

### 2.1. Kayaçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi (Determination of physical and mechanical properties of rocks)

Bütün fiziksel ve mekanik deneyler ISRM (2007)'e göre gerçekleştirilmiştir. Kesme deneyleri yapılan kayaçların mekanik ve fiziksel özelliklerini belirlemek için yoğunluk, tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme (Brazilian) dayanımı, nokta yükleme dayanımı, Schmidt çekici sertliği ve sonik ses yayılım hız deneyleri yapılmıştır. Her bir deney için deney sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

Yoğunluk deneylerinde Buoyancy metodu kullanılmıştır. Tek eksenli basınç deneylerinde numune çapı 54 mm ve numune boy/çap oranı 2,5-3,0 arasında olacak şekilde numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan silindirik numuneler üzerinde tek eksenli basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yükleme hızı olarak 2 kN/sn seçilmiştir. Kayaç numunelerinin çekme dayanımı Brazilian deneyi olarak bilinen yöntem ile bulunmuştur. Disk şeklindeki numunelerin 0,2 kN/sn yükleme hızında hidrolik preste baskı uygulanarak kırılması sağlanmıştır. Kayaç numunelerinin nokta yükleme dayanımını belirlemek için eksenel tipte deneyler yapılmıştır. Numune çapı yaklaşık 54 mm ve numune genişlik/çap oranı 0,5-1,0 olacak şekilde numuneler hazırlanmıştır. Daha sonra numuneler nokta yükleme deney aletinde kırılarak numunelerin nokta yükleme dayanım indeks değerleri belirlenmiştir. Kayaçların yüzey sertlik özelliklerini belirlemek için L-tipi dijital Schmidt çekici kullanılmıştır. Sertlik belirleme deneyleri blok numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu numuneler üzerinde farklı noktalara en az 20 adet vuruş yapılmıştır. Ses yayılım hızı deneyleri

yapılırken P dalgasına göre numunenin ses yayılım hızları bulunmuştur. Numunelerin ses yayılım hızları laboratuvar ölçekli dijital göstergeli bir deney aleti kullanılarak belirlenmiştir.

### 2.2. Kayaç Kesme Deneyleri (Rock Cutting Experiments)

Doğrusal kesme deneylerinde kullanılan kesme deney seti Fowell ve McFeat-Smith (1976), McFeat-Smith ve Fowell (1977), tarafından geliştirilen kesme deney setinin benzeri olan bir deney setidir. Kesme deneyleri Selçuk Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümü laboratuvarında bulunan doğrusal kesme deney setinde gerçekleştirilmiştir. Kesme deneylerini gerçekleştirmek için 30x30x10 cm boyutlarında hazırlanan blok şeklindeki tüf numuneleri kullanılmıştır. Deneylerde kesme deney setinin tablasına yerleştirilen kayaç numunesi kesme açısı -5°, temizleme açısı 5° ve keski genişliği 12 mm olan kama tip bir keski ile kesilerek keskiye etki eden kesme kuvveti yük hücresi yardımıyla ölçülerek veri toplama kartı ve MATLAB yazılımı sayesinde kayıt edilmektedir. Kesme işlemi sonucunda elde edilen ortalama kesme kuvvetinin açığa çıkan pasa hacmine bölünmesiyle spesifik enerji değeri hesaplanmıştır (Eşitlik 1).

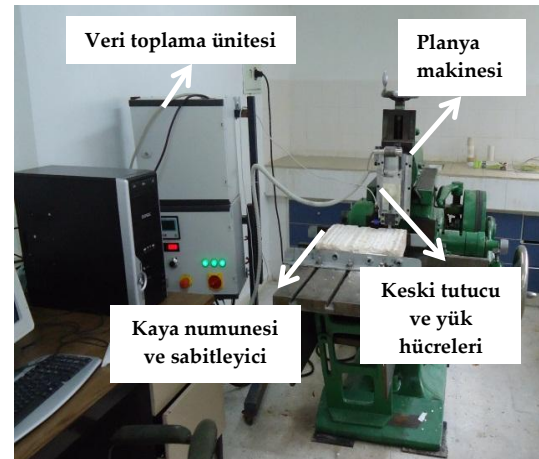
$$SE = FC/Q \quad [1]$$

Burada;

SE: Spesifik enerji (MJ/m<sup>3</sup>)

FC: Ortalama kesme kuvveti (kN)

Q: Pasa hacmi (m<sup>3</sup>)



Şekil 2. Kesme deney seti, (Cutting test equipment)

**Çizelge 1.** Kayaçların fiziksel-mekanik özellikleri ile spesifik enerji değerleri, (*Physical and mechanical properties of rocks and specific energy values*)

Kayaç Adı	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	$\sigma_c$ (MPa)	$\sigma_t$ (MPa)	$I_{s(50)}$ (MPa)	Schmidt sertliği	P dalga hızı (km/s)	SE (kWh/m <sup>3</sup> )
Tüf 1	1,43	4,44	1,05	0,76	26,66	1,88	1,50
Tüf 2	1,50	7,86	1,39	1,17	27,27	2,17	1,47
Tüf 3	1,67	11,86	1,52	1,69	33,79	2,28	3,01
Tüf 4	1,72	11,23	1,59	1,58	28,59	2,23	2,35
Tüf 5	1,66	8,23	1,19	1,37	30,21	2,21	2,43
Tüf 6	1,57	9,35	1,78	1,29	25,95	2,29	1,95

$\sigma_c$ : Tek eksenli basınç dayanımı,  $\sigma_t$ : Dolaylı çekme dayanımı,  $I_{s(50)}$ : Nokta yükleme dayanımı, SE: Spesifik enerji değeri

### 2.3. Performans tahmin yöntemi (Performance prediction method)

Mekanize kazı performansının tahmini için birçok araştırmacı amprik ya da yarı-amprik performans tahmin modelleri önermiştir. Bu çalışmada Nevşehir bölgesinden seçilen ilgili test kayaçlarını yerinde kesmek için mekanize kazı yöntemlerinden birisinin seçilmesi durumunda, bu kazının performans durumu değerlendirilmiştir. Bunun için spesifik enerji değerinin kullanıldığı Rostami ve diğ. (1994) ile tek eksenli basınç dayanımı ve RQD değerinin kullanıldığı Bilgin (1990) modeli kullanılmıştır. Bu modellerde kullanılan eşitlikler aşağıdaki gibidir.

*Rostami modeli:*

$$V_{ph} = (HPn) / (SE)$$

$$W_{ph} = V_{ph} \gamma$$

*Bilgin modeli:*

$$RMCI = UCS(RQD / 100)^{2/3}$$

$$ICR = 0,28P(0,974)^{RMCI}$$

Burada;

UCS: Tek eksenli basınç dayanımı, MPa

RQD: Kaya kalite katsayısı, %

RMCI: Kayaç kütlesi kazılabilirlik indeksi

P: Kazı makinesinin gücü, kW

$V_{ph}$ : Üretim miktarı, m<sup>3</sup>/h

HP: Kesici kafa gücü, kW veya HP

$\eta$ : Toplam sistem verimliliği (kollu kazıcılar için genelde 0,45-0,55 alınır)

SE: Spesifik enerji, kWh/m<sup>3</sup>

$W_{ph}$ : Üretim miktarı, ton/h

$\gamma$ : Kazılacak malzemenin yoğunluğu, t/m<sup>3</sup>

Yukarıda verilen modeller kullanılarak tüfler için performans tahmin işlemleri yapılmıştır. Buna göre bütün kayaçlar için 100 kW gücünde bir kollu galeri açma makinesi kullanılacağı ve performans tahmininde en kötü kazı durumunun düşünülmesi gerektiğinden RQD 100 olarak ve  $\eta$  değeri de 0,50 kabul edilmiştir. Aşağıda Tüf 1 numunesi için hesaplamalar verilmiştir. Diğer tüfler için ise aynı işlemler yapılmış ve sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir.

*Tüf 1 için performans tahmin işlemleri şu şekildedir;*

**Rostami modeli;**

$$V_{ph} = (100 * 0,50) / 1,50 = 33,27 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$W_{ph} = 33,33 * 1,43 = 47,58 \text{ ton/h}$$

**Bilgin modeli;**

$$RMCI = 4,44 * (100/100)^{2/3} = 4,44$$

$$ICR = 0,28 * 100 * 0,974^{4,44} = 24,91 \text{ m}^3/\text{h}$$

**Çizelge 2.** Tüflerin kazısında kullanılacak bir kazı makinesi için performans tahmin sonuçları,  
(Results of performance prediction for an excavation machine to be used in excavation of tuffs)

Kayaç adı	Rostami modeli için kazı hızı (m <sup>3</sup> /h)	Rostami modeli için üretim miktarı (ton/h)	Bilgin modeli için kazı hızı (m <sup>3</sup> /h)
Tüf 1	33,27	47,58	24,91
Tüf 2	34,09	51,14	22,76
Tüf 3	16,64	27,78	20,49
Tüf 4	21,30	36,64	20,83
Tüf 5	20,62	34,23	22,54
Tüf 6	25,68	40,31	21,89

### 3. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada Nevşehir bölgesinden sağlanan tüf numuneleri üzerinde küçük boyutlu kesme deneyleri yapılmış ve birim hacim kayacı kesmek için gerekli olan enerji miktarı hesaplanmıştır. Kesme deneyleri yapılan numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri de belirlenerek elde edilen spesifik enerji değeri ve tek eksenli basınç dayanımı değerleri kullanılarak seçilen bir kollu galeri açma makinesi için Rostami ve diğ. (1994) ve Bilgin ve diğ. (1990) modelinden faydalanarak performans tahmin işlemleri yapılmıştır. Bu iki modelin birbirlerine yakın değerlerde çıkması, toplam sistemi ve yarı amprik model olmaları nedeniyle bu modellerin kullanılmasının daha

uygun olacağı düşünülmektedir. Uygulamada ortalama 100 MPa basınç dayanımına sahip kayalar, kollu galeri açma makineleri ile kazılabilmektedir. Burada incelenen kayaların en yüksek basınç dayanımı değeri 11,86 MPa olduğundan bu kayaların kollu galeri açma makineleri ile kazılabileceği görülmektedir. Böylelikle bu çalışma ile üreticilere seçecekleri kazıcı makine hakkında ön bir çalışma imkânı sunulmuştur. Sonuç olarak Nevşehir bölgesinde yer alan tüflerin genelde yapı malzemesi ve yeraltı deposu olarak kullanıldığı düşünüldüğünde bu tüflerin hem kollu galeri açma makineleri ile kazısı hem de zincir kollu kesme makineleri ile kesilmesinde herhangi bir problem olacağı düşünülmemektedir.

### 4. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Bilgin, N., Seyrek T., Shahriar K., 1988, "Roadheader performance in İstanbul, Goldenhorn clean-up contributes valuable data", *Tunnels and Tunnelling*, June, 41-44.
- Bilgin, N., Seyrek T., Erdinc E. and Shahriar K., 1990, "Roadheaders glean valuable tips for İstanbul Metro", *Tunnels and Tunnelling*, 22, 29-32.
- Bilgin, N., Yazıcı, S. and Eskikaya, S., 1996, "A model to predict the performance of roadheaders and impact hammers in tunnel drivages", *Proceedings, Eurock '96, Balkema*, pp. 715-720.
- Bilgin, N., Kuzu, C. and Eskikaya, S. 1997, "Cutting performance of rock hammers and roadheaders in İstanbul Metro drivages", *Pro. World Tunnel Congress'97, Tunnels for People, Balkema*, pp. 455-460.
- Copur, H., 1999, "Theoretical and experimental studies of rock cutting with drag bits towards the development of a performance prediction model for roadheaders", Ph.D. thesis, *Colorado School of Mines, Golden, CO*, 362.
- Eskikaya, Ş., Bilgin N., Dinçer T., Özdemir L., 1998. "A model to predict the cutting performance of rapid excavation systems". *Proc. The Seventh International Symp. On Mine Planning and Equipment Selection*, 575 sf, Calgary, Balkema.
- Fowell, R.J., McFeat-Smith, I., 1976, "Factors influencing the cutting performance of a selective tunnelling machine", *Proceedings of Tunnelling '76 Symposium, I.M.M., London*, March, 3-10.
- Gehring, K.H., 1989, "A cutting comparison", *Tunnels and Tunnelling*, Nov., 27-30.
- Hartman, H.L., Breeds, C.D., and Conway, J.J., 1992, "Rapid excavation", *SME Mining Engineering Handbook Charter: 22.2*, 1876 sf.

- Hurt, K.G., Morris, C.J., and Mac. Andrew, K.M., 1982, "The design and operation of boom tunnelling machine cutting methods". 14th Canadian Rock Mech. Symp., CIM special 30, 54-58.
- ISRM, 2007, "The Complete ISRM Suggested Methods For Rock Characterization, Testing and Monitoring", R. Ulusay; J.A. Hudson (Editors), Kozan Ofset Mat., Ankara, p. 156.
- McFeat-Smith, I., Fowell R.J., 1977, "Correlation of Rock Properties and the Cutting Performance of Tunneling Machines", *Proceedings of a Conference on Rock Engineering*, CORE-UK, Conference organized jointly by the British Geotechnical Society and Department of Mining Engineering, The University of Newcastle upon Tyne, pp: 581-602.
- McFeat-Smith, I., Fowell R.J., 1979, "The Selection and Application of Roadheaders for Rock Tunneling", *Proc 4 th Rapid Excavation and Tunneling Conference Atlanta*, AIME, Newyork, pp. 261-279.
- Rostami, J., Ozdemir, L. and Neil D.M., 1994, "Performance prediction: The key issue in mechanical hard rock mining", *Mining Engineering*, November: 1263-1267.
- Thuro, K., Plinninger, R.J., 1999, "Roadheader excavation performance geological and geotechnical influences", *9th ISRM Congress*, Theme 3: Rock Dynamics and tectonophysics / Rock cutting and drilling, Department for General, Applied and Engineering Geology, Technical University of Munich, Germany, Paris, August, 25-28.